

電子飛跡検出型コンプトンカメラにおける 飛跡取得アルゴリズムの改良 IV

古村翔太郎^A

谷森達^A 窪秀利^{A, B} Parker Joseph^A 水本哲矢^A 水村好貴^A 友野大^A

岩城智^A 澤野達哉^A 中村輝石^A 松岡佳大^A 中村祥吾^A 小田真^A

園田真也^C 身内賢太郎^D 高田淳史^E 岸本祐二^F 株木重人^G

黒澤俊介^H 田中真伸^{B, I} 池野正弘^{B, I} 内田智久^{B, I}

京大理^A Open-It^B 京大工^C 神戸大理^D 京大生存圏研^E

KEK放射線科学センター^F 東海大医^G 東北大金属研^H KEK素核研^I

本講演の位置づけ

先の2講演

22pSD-4 (松岡)

30cm角 μ PICを用いた電子飛跡検出型
コンプトンカメラ(ETCC)の開発

22pSD-5 (高田)

大面積Micro Pixel Chamberの開発 9

本講演

30cm角ETCCで採用されている

- ・ 飛跡取得アルゴリズム
- ・ 飛跡解析の手法

→ 小型試験機での性能評価

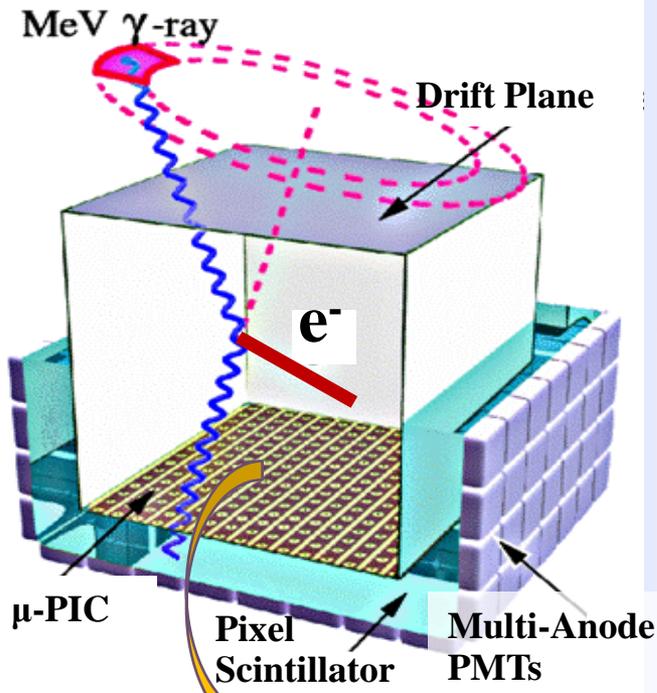
開発されたガス飛跡検出器
シミュレータを用いた

- ・ 飛跡解析手法の検証開始

についてお話しします

電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)

Electron-Tracking Compton Camera



- ガス飛跡検出器 μ -TPC

反跳電子の3次元飛跡・エネルギー

- シンチレーションカメラ

散乱ガンマ線の吸収点・エネルギー

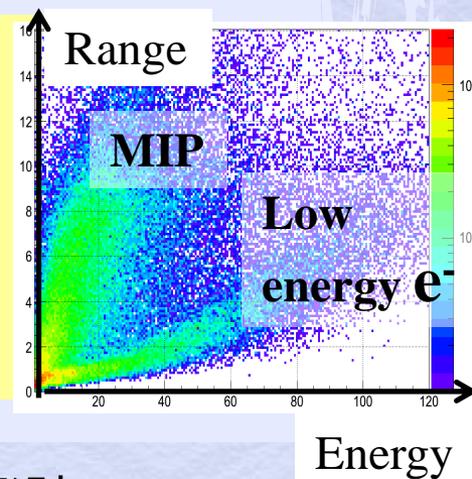
➤ 事象毎に到来方向を円弧状に限定

➤ 広い視野 ($\sim 3\text{str}$)

➤ 高いバックグラウンド除去能力

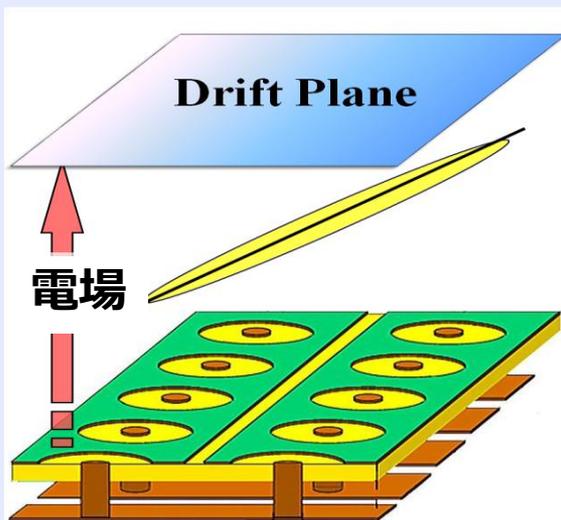
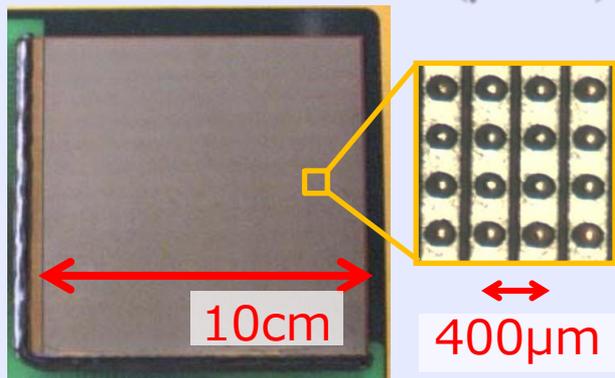
➤ dE/dX 分布による粒子識別

➤ 運動学を用いたコンプトン判定



二次元ガス位置検出器

Micro Pixel Chamber (μ -PIC)



3次元飛跡

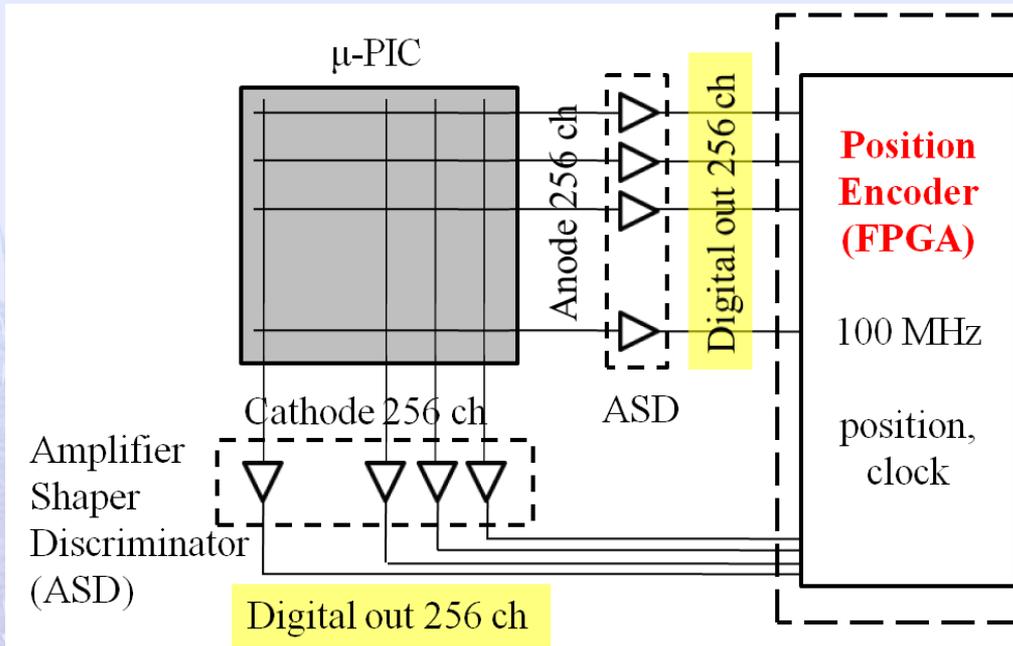
(2次元位置情報

+ Drift時間情報)

感度向上を目指し

飛跡データ取得法を改良

飛跡取得アルゴリズムの改良



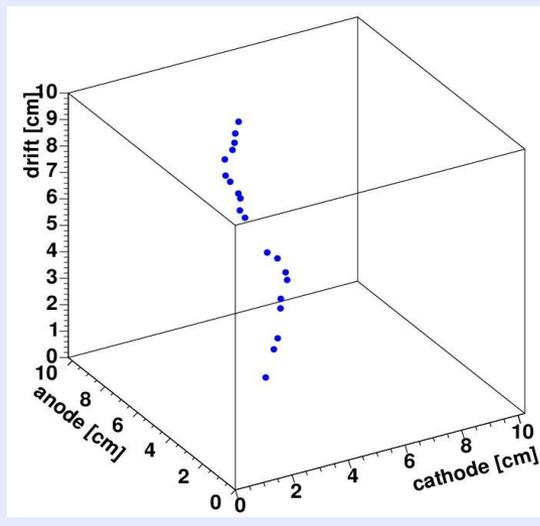
もともと大強度X線の測定用

→ ETCC用に再設計

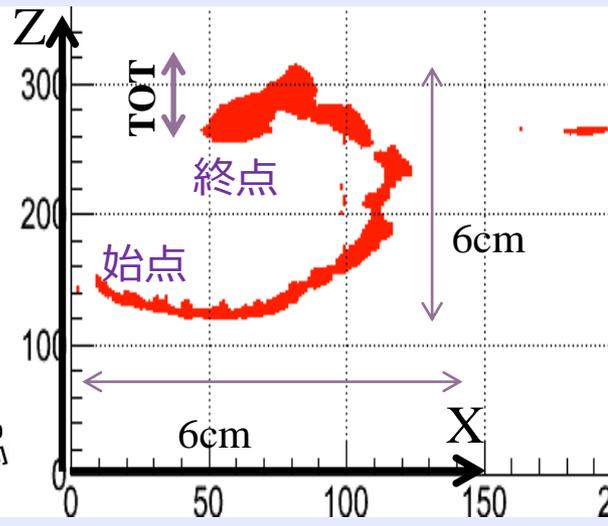
- XYの自動コインシデンス廃止
- データリダクション廃止 (検出された全pixel位置を記録)
- 信号のパルス幅(TOT)記録

JPS2011秋季(古村)

改良前



改良後



◆ 飛跡データ点の大幅増加

10-20keV電子で25倍以上(~300点)

5keVの電子でも10点以上

ほぼ100%電子検出可能

◆ TOT情報の活用

ノイズ除去・前後判定・拡散考慮

→ dE/dX分布の精度向上

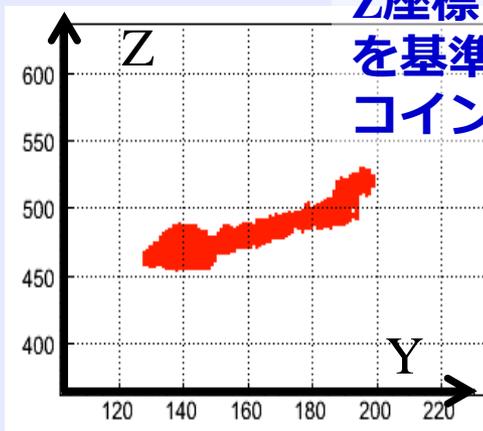
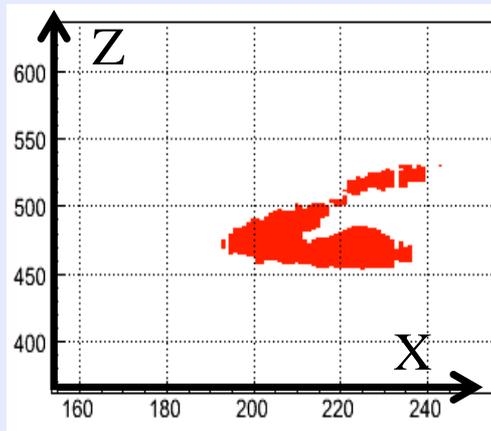
→ ETCC検出効率の向上

→ ETCCの角度分解能向上

JPS2012春季(古村)

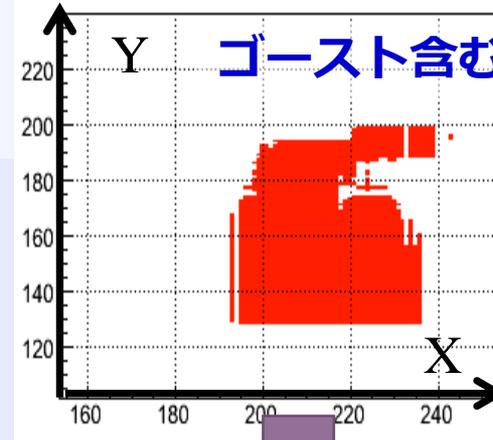
新アルゴリズム用 飛跡解析 とにかくシンプルに

Rawデータ 2次元飛跡×2枚



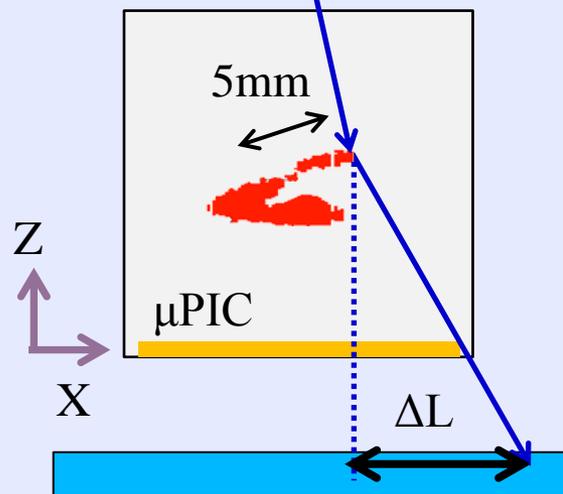
Z座標 (時刻)
を基準に
コインシデンス

3次元飛跡を決定



飛程 ... 3次元飛跡を囲む
直方体の対角距離

入射 γ 線



シンチレーションカメラ

運動学を活かした解析

散乱ガンマ線と反跳電子は逆方向に飛ぶ

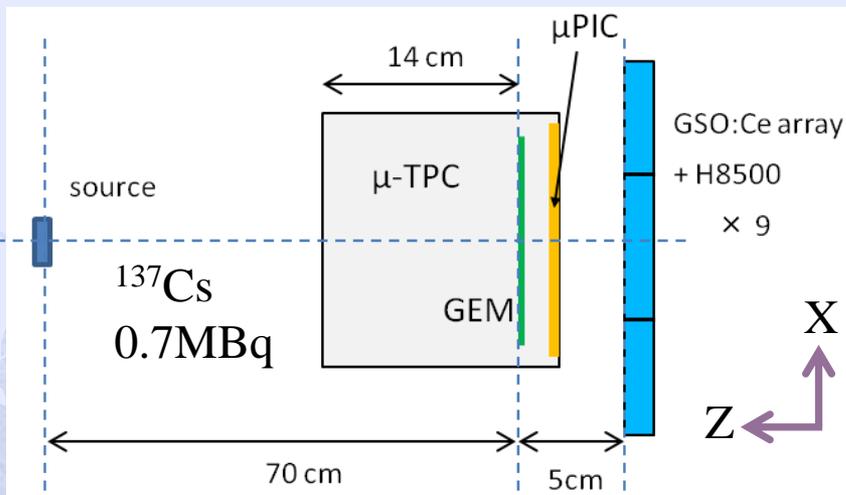
➤ 散乱点 ... 吸収点からXY平面距離 ΔL が
(始点) 最も短い飛跡点

➤ 反跳方向 ... 散乱点から3次元距離が
最も長い飛跡点の方向 (5mm以内)

性能評価@試験機

ガス飛跡検出器 μ -TPC

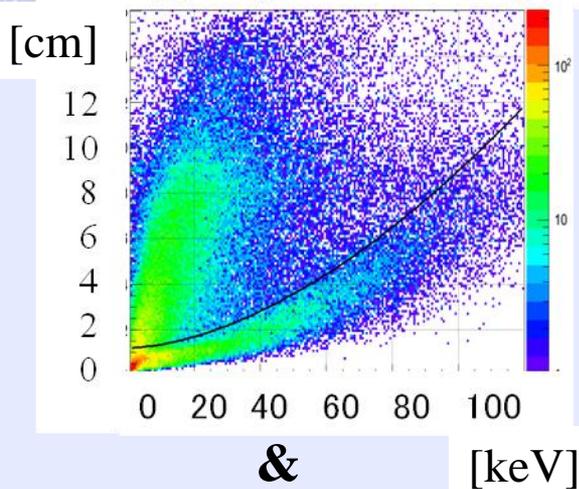
シンチレーションカメラ



Gas	Ar + C ₂ H ₆ (10%) 1.0atm 封じり
Fiducial Volume	7.68 x 7.68 x 14.1 cm ³
Drift	$E_{\text{drift}} = 170 \text{ V/cm}$ $V_{\text{drift}} = 3.2 \text{ cm}/\mu\text{sec}$
GEM	Polyimide, 50 μm
Gain	~ 24000
Energy Resolution	14 % @ 31keV (FWHM)

Scintillator	GSO:Ce
Pixel Size	6 x 6 x 13 mm ³
PMT	H8500
Camera Size	15.6 x 15.6 cm ² (3x3 PMT)
Energy Resolution	10% @ 662keV (FWHM)

Energy Deposit vs. Range

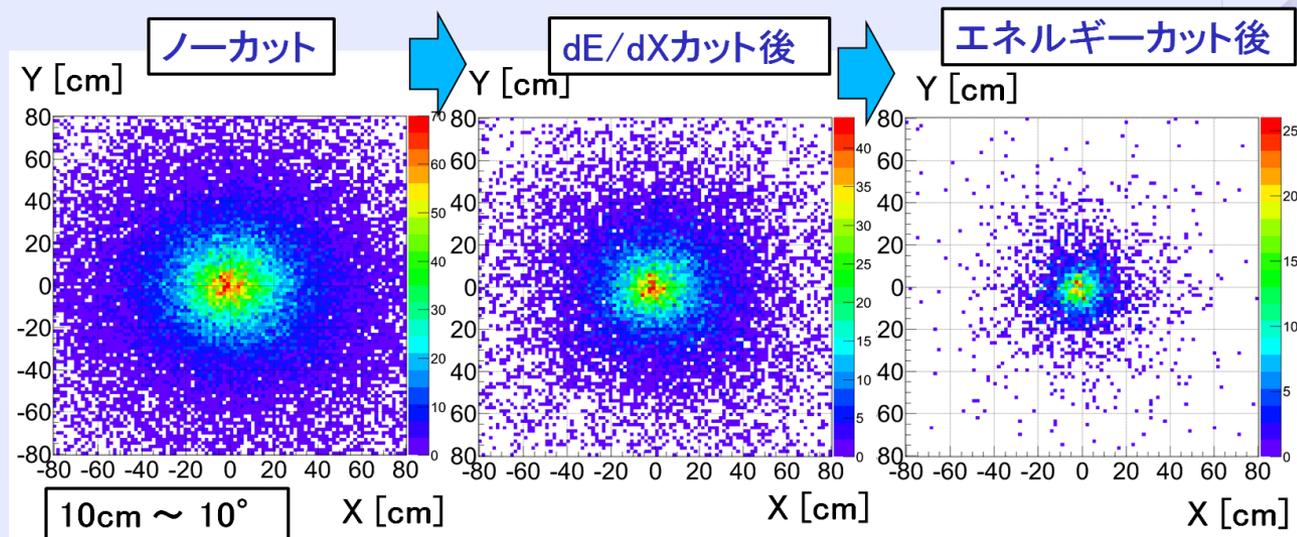


Energy Cut

662keV \pm 10%

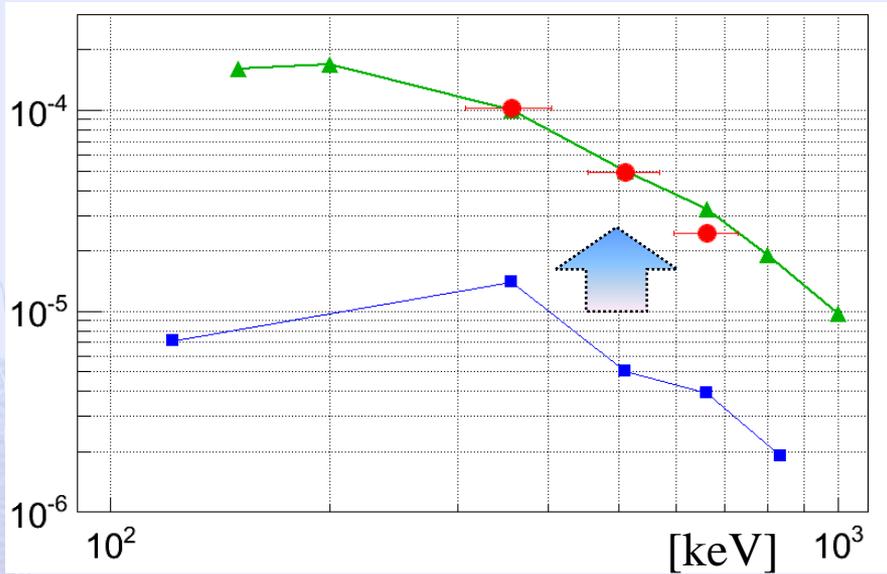
Back Projection イメージ変化

線源(X,Y)=(0,0)



簡単なカットのみでBG除去可能

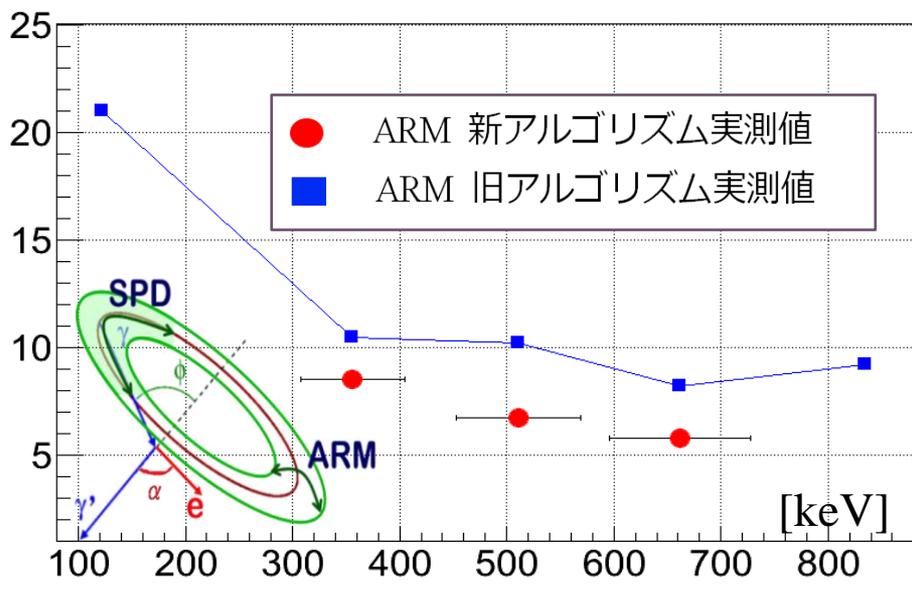
検出効率



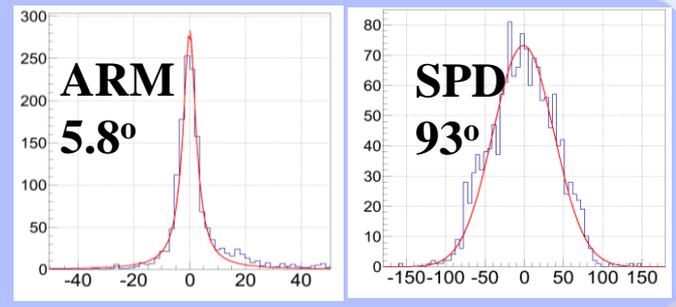
- 新アルゴリズム実測値
- 旧アルゴリズム実測値
- ▲ シミュレーション値 (ジオメトリ & 物理過程のみ)

- 旧アルゴリズムより、**5-10倍向上**
- **シミュレーションと30%以内で一致**
- 精度の良い予測可能に

角度分解能(FWHM)



@662keV



- ARM ... 検出器の原理限界まであと 1-2°
- SPD 従来は 90°-200° ばらつき
現在は安定して 90°-100° 達成
- 多重散乱 $\theta_{RMS} \sim 40^\circ$ (@40keV、5mm)
- 改善の余地は大いにある

ガス飛跡検出器 μ -TPC シミュレーション

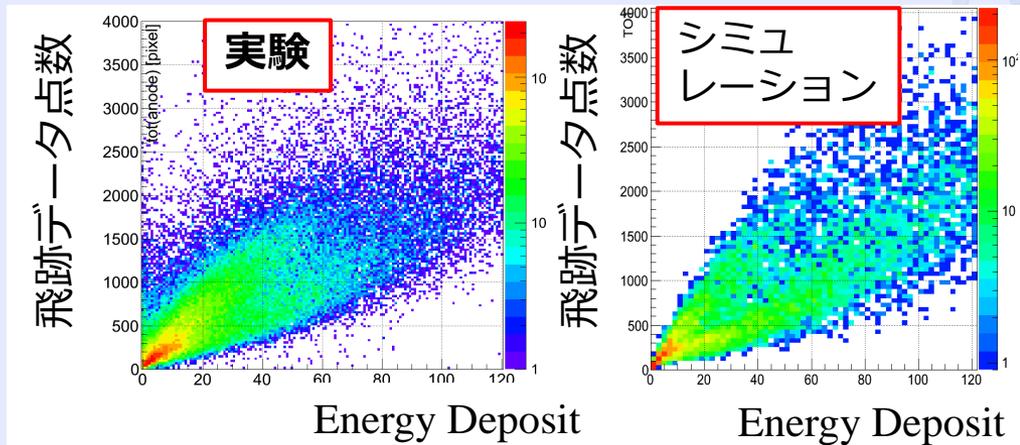
➤ Garfield++ を用いたガス飛跡検出器 μ -TPC シミュレーション

➤ 実験結果をおおよそ再現

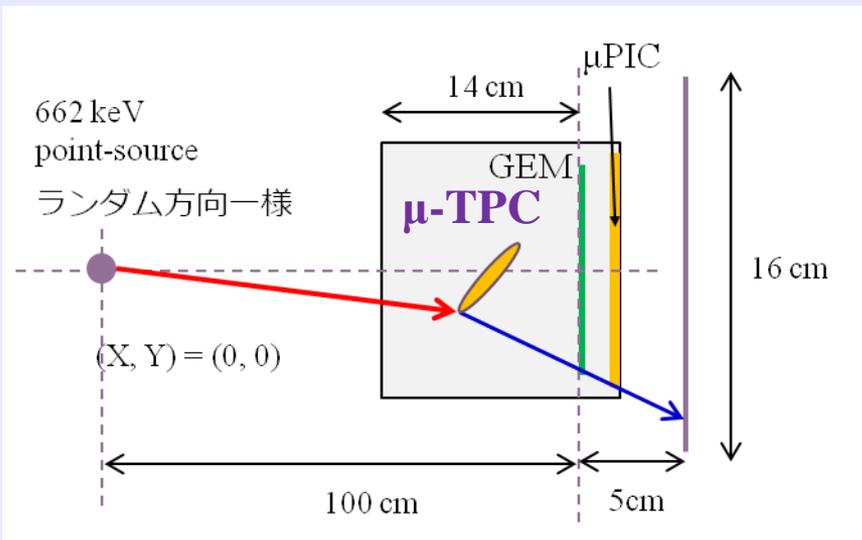
- ^{55}Fe の preamp 出力信号
- 電子飛跡の形状
- Energy vs. 飛跡データ点数



高田講演
22pSD-6



➤ 662keV ガンマ線入射 シミュレート..... 飛跡解析手法の評価・検証



Gas	Ar + C ₂ H ₆ (10%) 1.0atm
Volume	10 x 10 x 14 cm ³

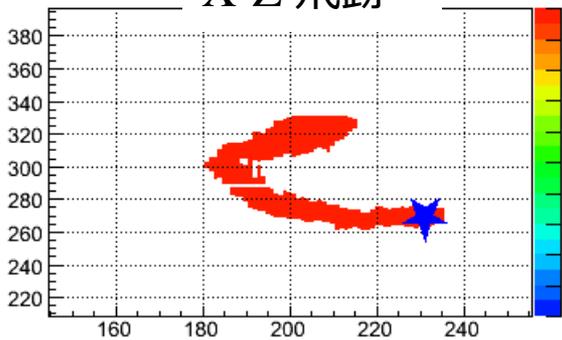
Drift	V _{drift} = 3.2 cm/ μ sec
Gain	~ 24000

- 電子飛跡のほか、
真の軌道、Energy Deposit は 既知
- シンチレーションカメラの応答は未実装
エネルギー分解能・位置分解能 無限大

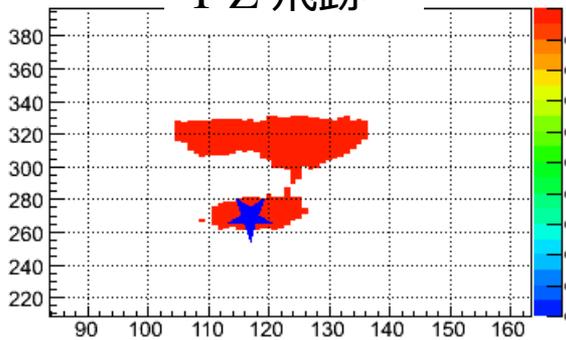
ガス飛跡検出器 μ -TPC シミュレーション

★ コンプトン散乱点

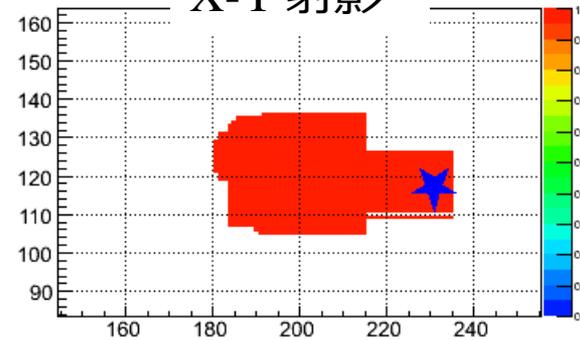
X-Z 飛跡



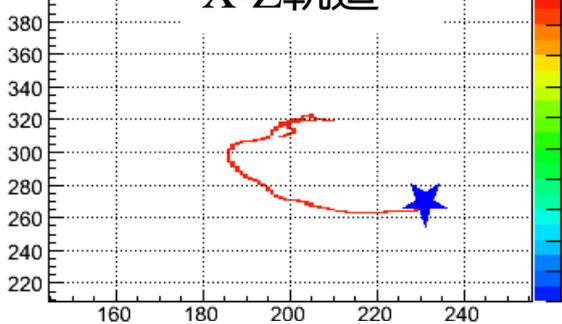
Y-Z 飛跡



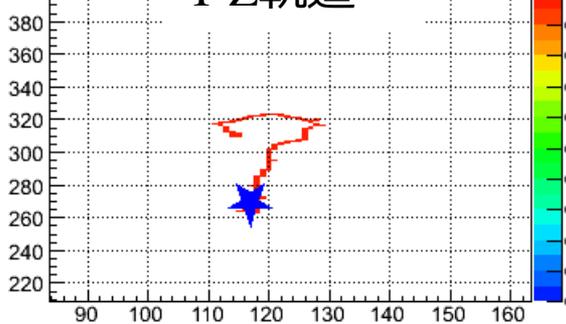
X-Y 射影



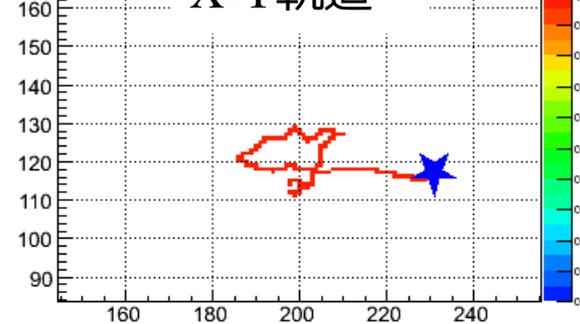
X-Z 軌道



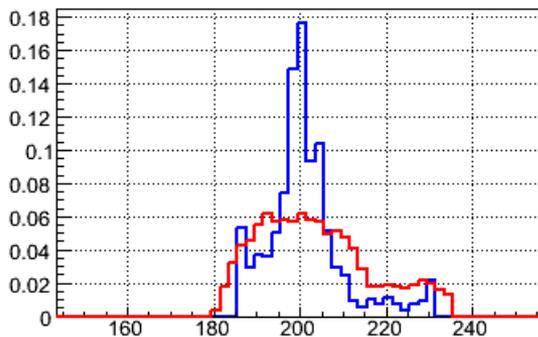
Y-Z 軌道



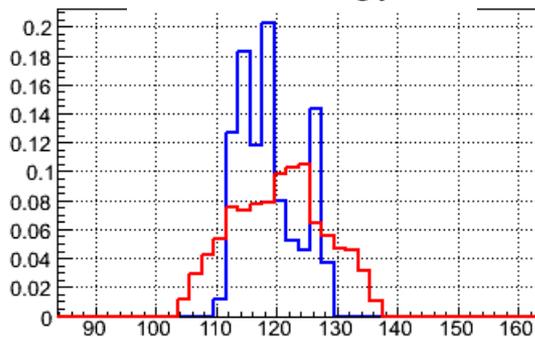
X-Y 軌道



X-Z Energy



X-Z Energy



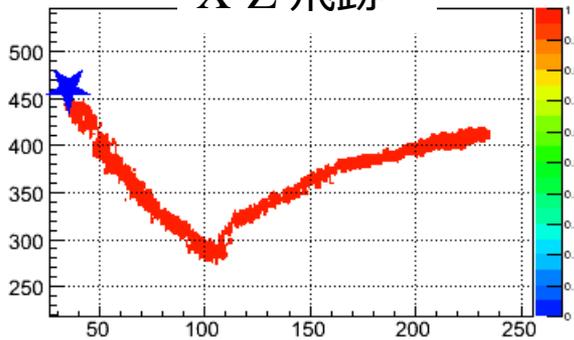
Energy 58.3keV

TOT
Energy Deposit

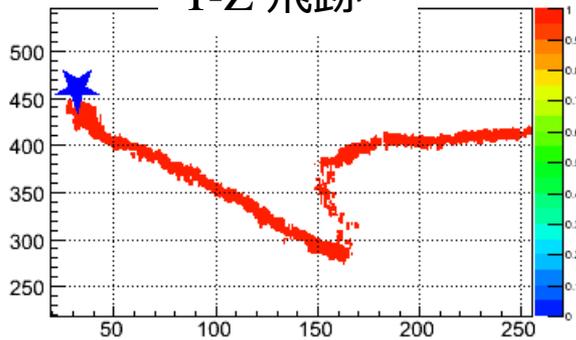
ガス飛跡検出器 μ -TPC シミュレーション

★ コンプトン散乱点

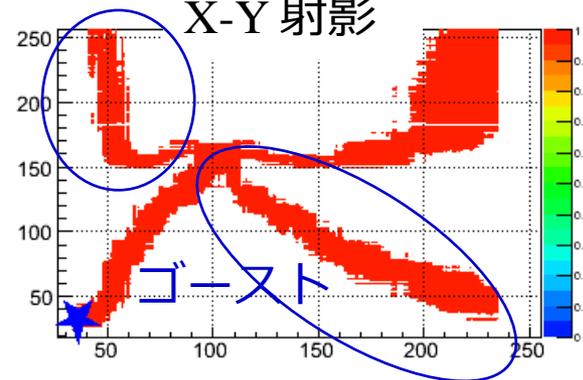
X-Z 飛跡



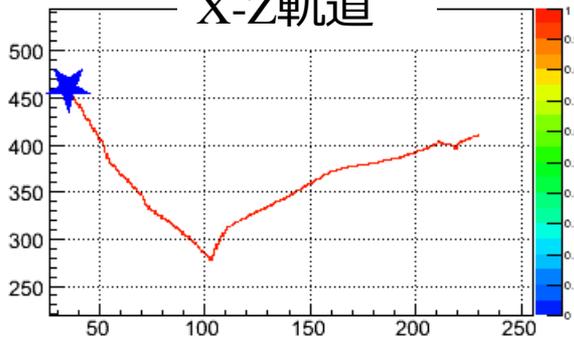
Y-Z 飛跡



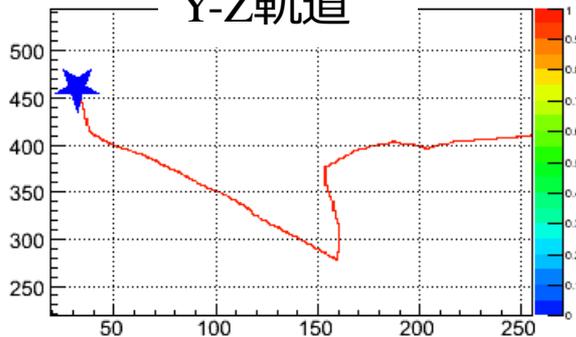
X-Y 射影



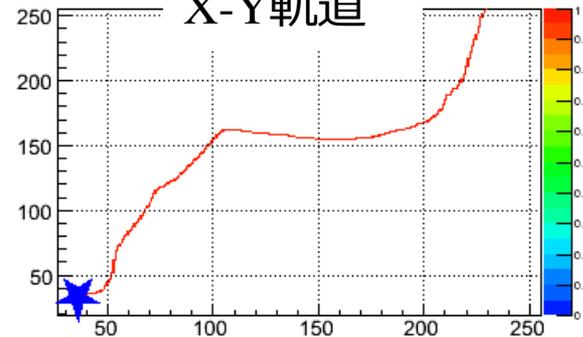
X-Z軌道



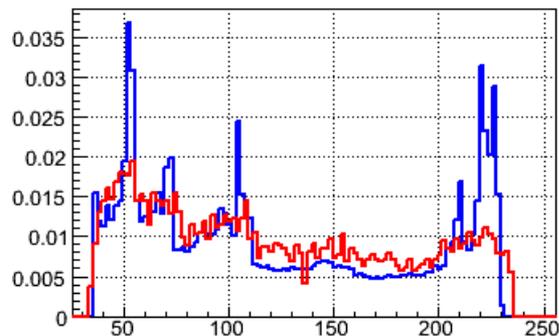
Y-Z軌道



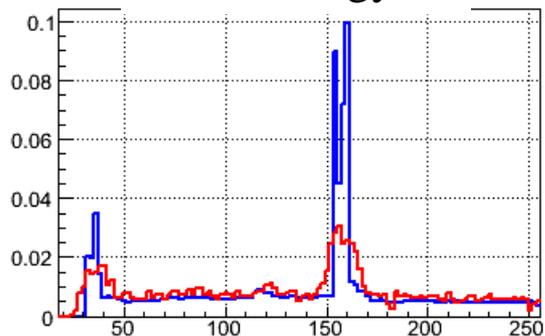
X-Y軌道



X-Z Energy



X-Z Energy



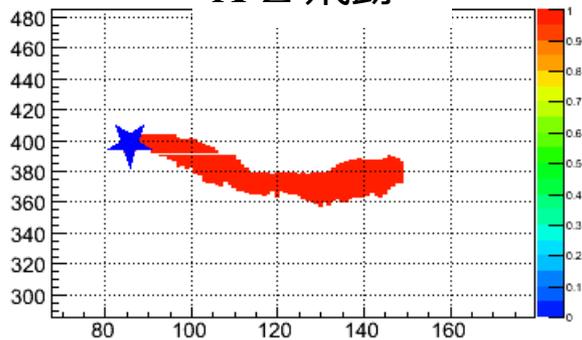
Energy 42.3keV

TOT
Energy Deposit

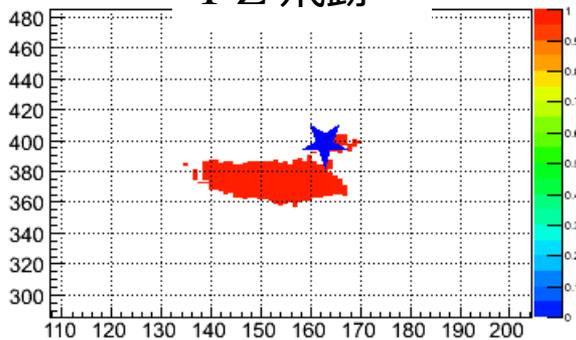
ガス飛跡検出器 μ -TPC シミュレーション

★ コンプトン散乱点

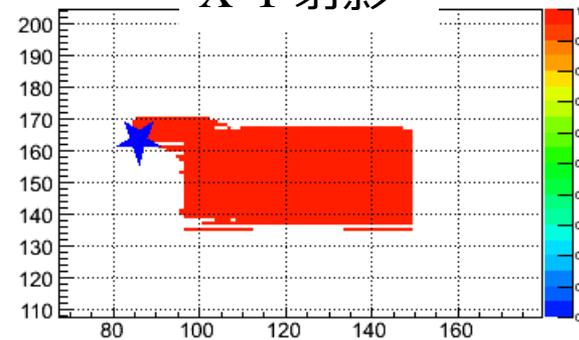
X-Z 飛跡



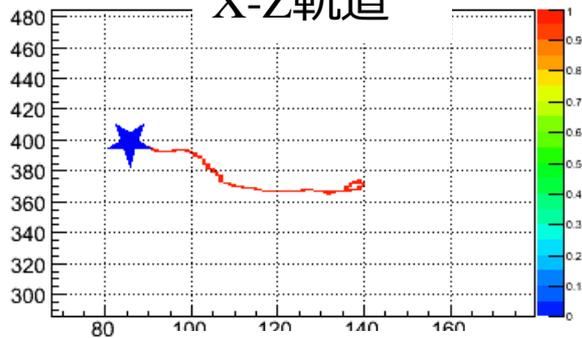
Y-Z 飛跡



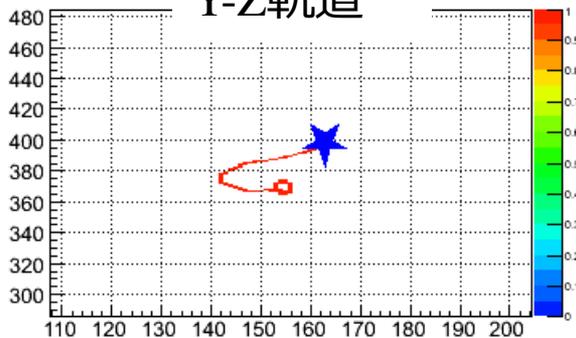
X-Y 射影



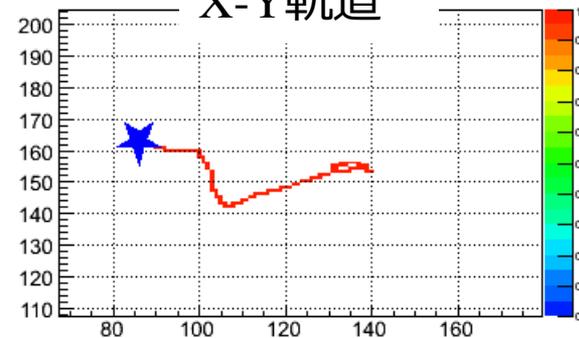
X-Z 軌道



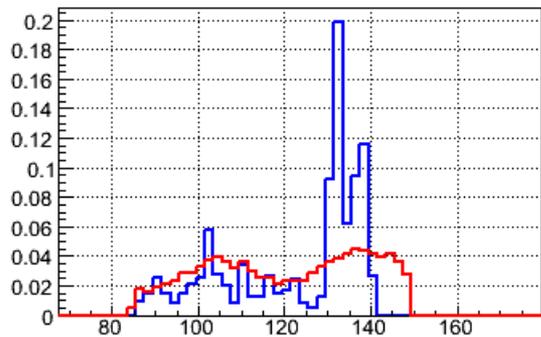
Y-Z 軌道



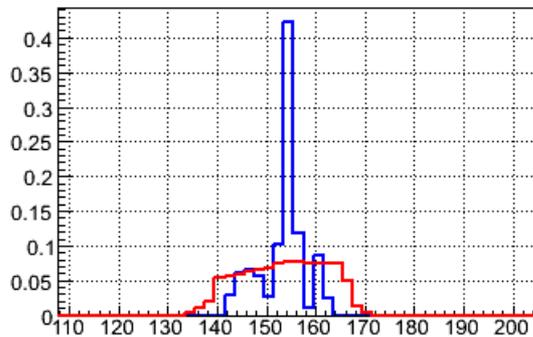
X-Y 軌道



X-Z Energy



X-Z Energy



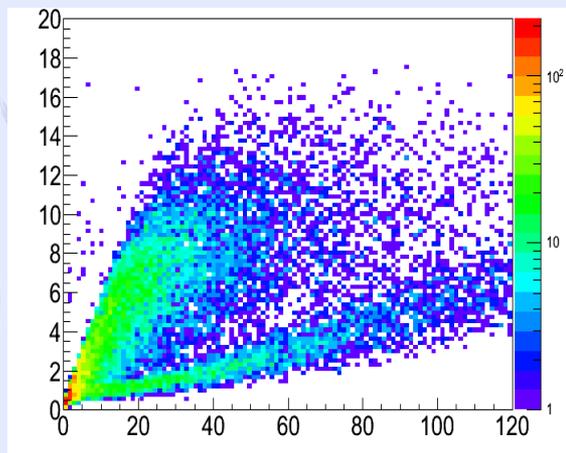
Energy 65.4keV

TOT
Energy Deposit

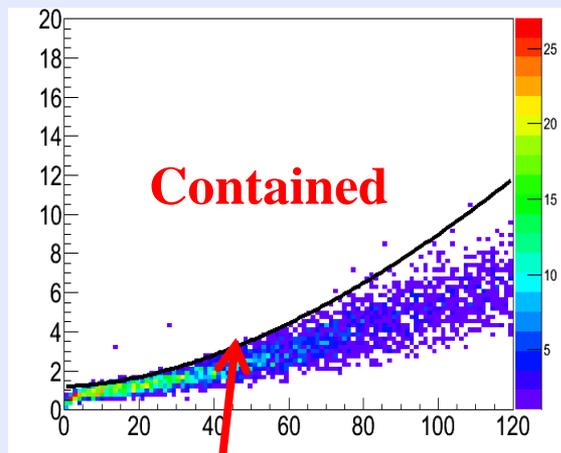
飛跡解析検証 シミュレーションに飛跡解析手法を適用

dE/dX分布について

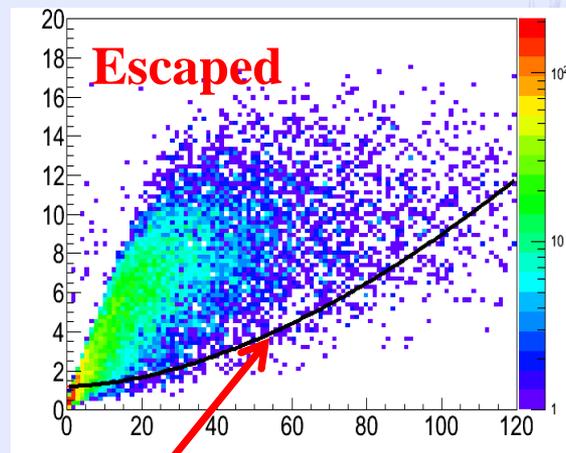
全イベント



TPC内部で8割
Energy Deposit



TPC内部で2割
Energy Deposit



現在、使用しているイベントカット条件

現在のdE/dXカット条件で、

- TPC内部で止まったイベントの**ほぼ100%選択**
- TPC外部へ突き抜けたイベントのうち**90%除去**

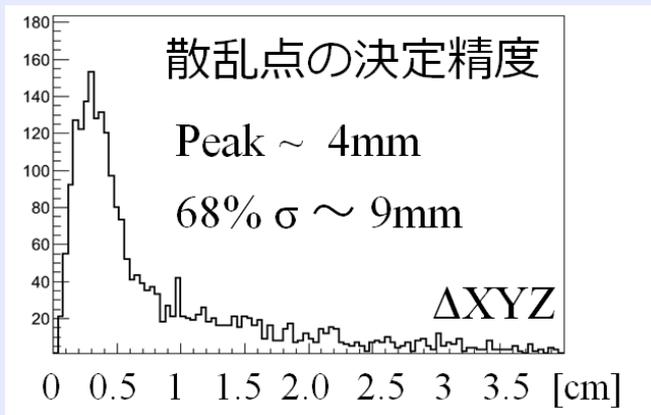
できている

飛跡解析における飛程の求め方、 カット条件は妥当

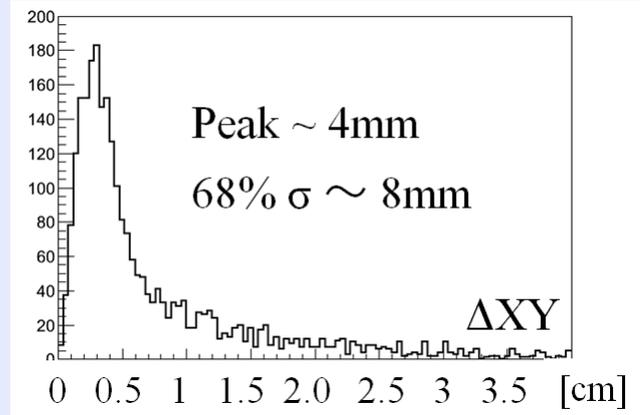
飛跡解析検証 シミュレーションに飛跡解析手法を適用

散乱点について

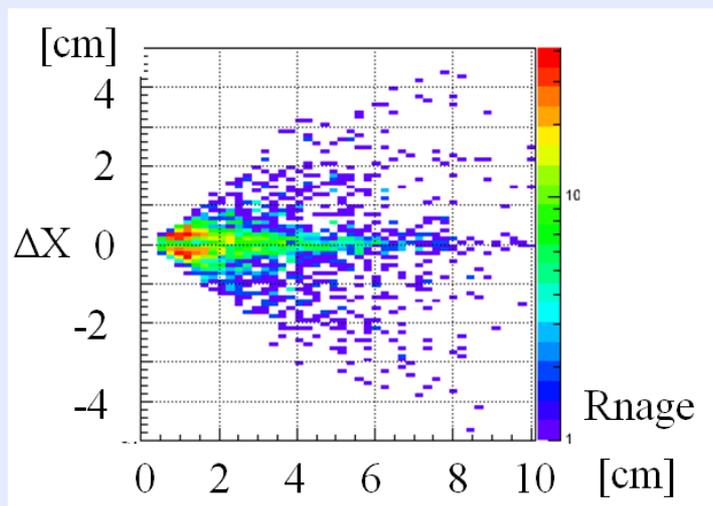
真の散乱点からの3次元距離



真の散乱点からのXY平面距離



飛程 依存性



散乱点の決定精度は、
ほぼXY平面距離できまっている

→ コインシデンスのゴーストが問題
コインシデンスのとり方を工夫する

飛程依存性が顕著

→ 飛程によって解析方法を変える

反跳方向についての解析は今後の課題

2値画像処理を用いた飛跡解析手法

コインシデンスを取らずに2次元画像のまま

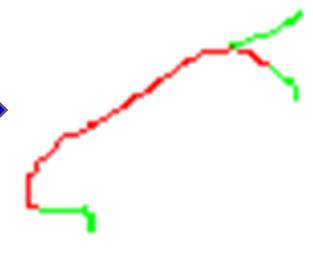
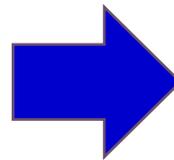
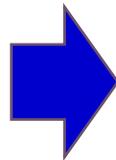
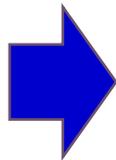
飛跡は信号ON/OFFの2値画像

Source

Dilate

Thin

Shrink



太らせて
隙間を埋める

細くして
解析しやすく

端を1pixelずつ縮めて
2端を探す

始点・終点発見
の手がかり

まとめ・課題

- ETCC用に飛跡取得アルゴリズムを再設計
専用の飛跡解析手法を考案 → 30cmETCCに反映済み
- 検出効率
 - 5-10倍改善
 - シミュレーションと30%以内で一致
- 角度分解能
 - ARM $8.2^\circ \rightarrow 5.8^\circ$ @662keV
 - SPD $90-200^\circ \rightarrow \sim 90^\circ$ (@356keV, @511keV, @662keV)
- dE/dXカットがBG除去に有効であることを、
シミュレーションで確認
- 飛跡解析の問題点および、改良の方向性の示唆を得た
(コインシデンスのゴースト、飛程依存性)
- 二値画像処理を用いた飛跡解析手法